

новленных в газоходу между скруббером и абсорбером и под уровнем жидкости в баке скруббера.

Нагретая в пароконденсаторе жидкость перетекает в отстойник-жироуловитель для основного выделения из оборота масел. Из отстойника осветлённая вода насосами подаётся сначала в регулируемые гидроциклоны для дополнительной сепарации масел, затем в теплообменники и обратно в пароконденсатор на орошение. Трубопроводная обвязка отстойника позволяет регулировать объём жидкости подаваемый на освещение.

Очистка вентвоздуха от газов термической деструкции жиров осуществляется в вертикальном насадочном абсорбере.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕРСИИ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ МЕТОДОМ ТГА

*Даргевич М.А., Кривова К.Д., Павловская Н.А., Хабиббулин А.Р.  
УрФУ, tes.urfu@mail.ru, dargevich@mail.ru*

Одним из основных лабораторных методов для определения кинетических констант, а также скорости реагирования угля в процессе конверсии является термогравиметрический анализ [1]. Данный метод позволяет регистрировать изменение массы порции угля, подвергающейся нагреву в печи при заданной скорости разогрева. Получаемая в эксперименте кривая изменения массы образца в зависимости от времени дает возможность установить температурные диапазоны различных стадий (сушка, выход летучих, выгорание коксового остатка), а также рассчитать эффективные значения кинетических параметров путем соответствующей математической обработки.

В опытах использовался экибастузский уголь, характеристики которого приведены в таблице.

Характеристики угля Экибастузского месторождения [2]

Показатели	Средние значения
Технические характеристики	
$W^r, \%$	3,4
$A^d, \%$	45,0
$V^{daf}, \%$	30,4
Элементный состав и теплота сгорания	
$C^{daf}, \%$	80,6
$H^{daf}, \%$	5,3
$N^{daf}, \%$	1,5
$O^{daf}, \%$	11,8
$S_c^{daf}, \%$	0,8
$Q_i^{daf}, \text{ккал/кг}$	7270

Основными элементами термогравиметрического анализатора являются печь нагрева и блок весов. Температура разогрева печи программируется в диапазоне от 25 до 1250 °С. К образцу угля подводится смесь газов, которая позво-

ляет исследовать процесс конверсии в различных режимах – пиролиз, сжигание, газификация.

Вертикальная конструкция печи гарантирует надежную работу весов, благодаря защитному и продувочному газу, который проходит через весы и вытесняет продукты реакции (рис. 1). Устройство прибора позволяет также организовать синхронный термический анализ с одновременным измерением концентрации выделяющихся газов.

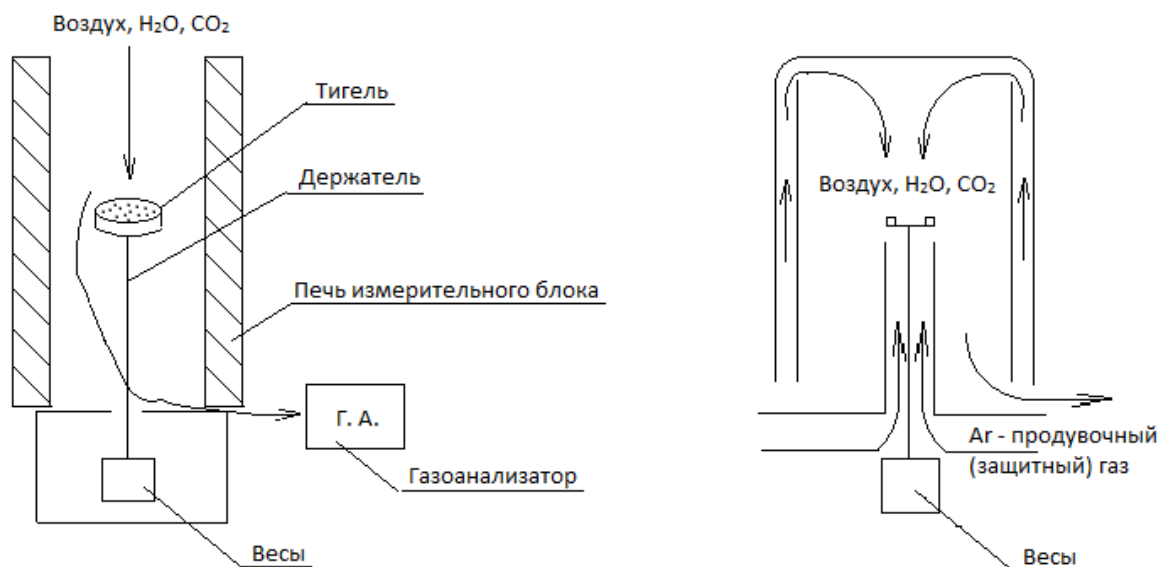


Рис. 1. Схематичное изображение ТГА анализатора

Результат термогравиметрического измерения в инертной среде (Ar) представлен на рис. 2. Скорость нагрева в эксперименте составила 10 К/мин. Как видно из рисунка, на первом участке происходит убыль массы за счет испарения содержащейся в образце влаги. На втором характерном участке происходит выход летучих, причем данный процесс не успевает завершиться до окончания эксперимента при температуре 700 °С.

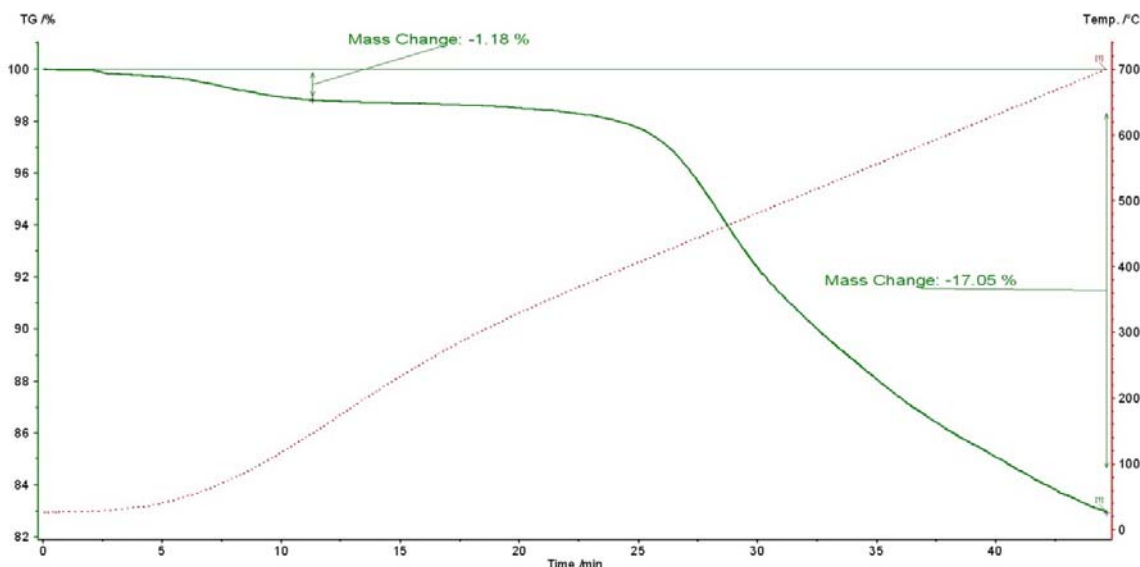


Рис. 2. Зависимость убыли массы экибастузского угля при разогреве в инертной среде от времени

Существуют различные подходы к обработке экспериментальных данных с целью определения кинетических характеристик процесса. Для образцов исходного угля или коксового остатка наиболее распространенным выражением расчета энергии активации, предэкспоненциального множителя и порядка реакции является следующее [3]:

$$\frac{dX}{dt} = k(T)f(X)P_c^n, \quad (1)$$

где  $X$  – степень конверсии угля,  $f(X)$  – фактор формы, который зависит от физико-химических свойств частицы,  $P_c$  – парциальное давление газа-реагента (Па),  $n$  – порядок реакции,  $k(T)$  – константа скорости химического реагирования (1/с).

Выражение для константы скорости химического реагирования может быть записано в виде:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (2)$$

где  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель (1/с),  $E$  – энергия активации, (кДж/моль).

Принимая для конверсии угля значение  $f(X)=1-X$ , можно использовать метод нелинейной регрессии для подбора значений  $k_0$ ,  $E$  и  $n$ , чтобы полученное уравнение наиболее близко описывало экспериментальную кривую конверсии экибастузского угля.

Таким образом, можно сделать вывод, что метод термогравиметрического анализа позволяет исследовать конверсию образцов угля в широком температурном диапазоне и в различных газовых средах. В дальнейших опытах планируется перейти от исследований в инертной среде к исследованию конверсии в воздушной и паровоздушной атмосфере. Полученные данные по удельной скорости реагирования, кинетическим параметрам, концентрации продуктов реакции планируются использовать на втором этапе при моделировании энергетических реакторов в пакетах вычислительной гидрогазодинамики.

#### *Библиографический список*

1. Рыжков А.Ф. [и др.]. Разработка низкотемпературных реакторов термохимической конверсии для угольной энергетики / А.Ф. Рыжков, Т.Ф. Богатова, Н.В. Вальцев и др. // Теплоэнергетика. 2013. № 12. С. 47-55.
2. Энергетические угли восточной части России и Казахстана: Справочник / В.В. Богомолов, Н.В. Артемьева, А.Н. Алехнович, Н.В. Новицкий (УралВТИ), Н.А. Тимофеева (СибВТИ). Челябинск: УралВТИ, 2004. 304 с.
3. Liu H. Combustion of Coal Chars in O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Mixtures: A Comparative Study with Non-isothermal Thermogravimetric Analyzer (TGA) Tests // Energy Fuels. 2009. Vol. 23. P. 4278–4285.

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОДНОГО ИЗ РАЙОНОВ ГОРОДА ОРСКА**

*Девизкая Н.А., Плужникова Н.А., Картавцев С.В.  
Московский институт стали и сплавов, Новотроицкий филиал*

Системы коммунального теплоснабжения в климатических условиях Восточного Оренбуржья (города Орск, Новотроицк, Гай, Медногорск, Кувандык, Ясный; районы Домбаровский, Новоорский, Кваркенский) работают в